泵站电气自动化控制中智能化技术的应用

郑 旭 罗 丹 闫家鹏 汪 波
杭州南泵流体机械有限公司 浙江 杭州 311100

摘 要：传统泵站电气控制模式存在操作繁琐、调控精度低、能耗偏高、故障处置滞后等诸多运行短板，难以适配现代水利排涝、调水工程的精细化运行需求。本文以泵站电气自动化控制系统为研究对象，梳理系统核心组成与智能化技术应用原理，重点分析PLC控制、智能传感、变频调速及大数据技术的实际应用方式，阐述智能系统的各项落地功能。结合泵站实际运行工况，总结智能化技术的适配优势与应用价值，为泵站电气控制系统升级改造、安全稳定运行与节能管控提供实践参考。

关键词：泵站；电气自动化控制；智能化技术；PLC控制；节能优化

引言：在水利工程智能化、现代化发展的背景下，泵站作为城乡排水、水资源调配的核心水工设施，其电气控制水平直接决定水利运维质量与运行效率。现阶段多数传统泵站仍沿用常规自动化或人工操控模式，设备协同性差、工况调控滞后、运维成本较高。为解决传统控制模式的诸多弊端，智能化技术逐步应用于泵站电气控制系统。本文依托泵站实际运行场景，探究各类智能化技术的具体应用与功能实现，旨在提升泵站运行的稳定性、安全性与经济性，助力水利泵站智能化升级发展。

1 泵站电气自动化控制与智能化技术基础概述

1.1 泵站电气自动化控制系统核心构成

泵站电气自动化控制系统依托电气设备与自控设备协同运行，实现输水、排水流程的自动化管控。系统主要分为四大模块：电气动力设备、信号采集设备、控制核心设备与执行设备。其中，高低压配电柜、变压器、变频器及电机组构成动力系统，为设备启停、持续运行提供稳定电力。各类传感器作为信号采集单元，实时采集水位、压力、流量、设备温度及电气参数。控制核心以可编程控制器为主，负责接收现场信号、完成逻辑运算并下发控制指令。接触器、调节阀、电气保护装置等执行设备根据指令完成机组启停、转速调节与管路控制，各模块协同构成泵站自动化运行基础架构。

1.2 智能化技术的核心类型与技术原理

现阶段适配泵站电气控制的智能化技术主要包括PLC智能控制、变频调速、智能传感及数据处理技术，各项技术原理贴合泵站实际运行工况。PLC控制依靠可编程逻辑运算，以内置程序替代传统继电控制与人工操作，可依据现场参数自主调整设备运行状态，抗干扰能力强、运行稳定性高。变频调速技术通过改变电机供电频率调节水泵转速，突破工频定速运行局限，适配复杂工况的水量调节需求。智能传感技术依托高精度元件实现参数精准实时采集，改善传统人工采集滞后、误差偏大的问题。数据处理技术对海量运行数据进行统计分析，挖掘设备运行规律，为工况调节与设备运维提供数据支撑。

1.3 智能化技术应用于泵站控制的适配性优势

相较于传统人工操控与常规自动化模式，智能化技术与泵站电气控制系统适配性较高。智能化控制系统可实现全天候自动化运行，减少人工操作失误与人力投入，适配城市排涝、水利调水等连续作业场景。同时，系统可实时监测设备运行状态，精准捕捉异常参数，配合自动保护装置规避过载、空转、短路等常见故障，有效降低设备故障率与运维成本[1]。

2 核心智能化技术在泵站电气自动化控制中的具体应用

2.1 PLC智能控制技术的应用

PLC作为泵站电气自控系统的核心控制单元，承担信号接收、逻辑运算与指令输出功能，是实现泵站智能化运行的硬件基础。（1）完成机组联动逻辑控制。根据前池水位、出水压力等现场采集信号，预先编写阶梯型、模块化控制程序，自动实现水泵机组顺序启停、多台机组轮换投切。在排涝泵站工况下，水位持续升高时逐级投入水泵；水位回落至设定阈值，依次关停机组，避免多台机组同时启停造成电网冲击、母线压降波动等问题。系统内部设置软硬件双重互锁程序，防止同一管路阀门与水泵出现冲突动作，从控制逻辑层面规避管路水锤、设备空转、憋压运行等工况风险。（2）实现电气保护逻辑集成。将电机过载、缺相、超温、高低压保护信号接入PLC输入端，当电气参数超出安全区间，控制器能够毫秒级快速输出停机指令，同步上传故障点位信息与参数记录。区别于传统独立继电保护装置，PLC可根据

泵站改扩建需求、工况负荷变化灵活修改保护阈值与动作逻辑，后期泵站扩容、工况调整时无需大规模改动硬件接线，系统适配性与可拓展性更强。（3）搭建上下层数据交互枢纽。PLC与上位监控终端、现场触摸屏建立稳定通讯链路，向下采集配电柜、传感器、变频器运行数据，向上实时上传全站工况信息，同时精准接收远程调度平台下发的控制指令，成为现场电气设备与远程管控平台的数据中转核心，保障全站控制指令与运行数据双向实时互通。

2.2 传感器智能感知与数据采集技术的应用

传感器网络是智能控制系统的数据来源，数据采集精度与稳定性直接决定泵站电气控制策略的准确性、科学性，是智能化控制落地的前置基础。（1）水力工况参数采集。在前池、出水管道关键节点安装液位变送器、压力传感器、电磁流量计，持续不间断采集水位、管道压力、实时流量数据。采集信号统一转换为标准4-20mA模拟量信号传输至PLC，控制系统依据水位变化区间精准调整水泵运行台数；依靠管道压力数值实时限制出口压力上限，有效防止管网承压超标、管路破损等安全隐患。（2）电气设备状态监测。在水泵电机、开关柜关键部位配套温度传感器、电流电压变送器，实时监测电机绕组温度、母线电流、供电电压等核心电气参数。设备长期运行过程中持续跟踪电气参数动态变化，精准捕捉电机三相电流不平衡、设备温升异常、电压波动超标等早期隐性异常信号，为设备故障预判提供数据支撑。（3）现场环境与辅助设备监测。配置液位开关、振动传感器、漏水监测装置，实时收集泵房积水、机组振动、管路渗漏等现场环境与设备状态信息。所有传感器统一规范安装位置与信号线缆敷设方式，全程采用屏蔽线缆施工，增加信号屏蔽与抗干扰措施，有效降低泵房内变频器、大功率电机启停产生的电磁干扰，减少信号失真、数据跳变与误采集现象，保障控制系统逻辑稳定、精准执行[2]。

2.3 变频智能调速技术的应用

变频调速装置直接作用于水泵驱动电机，通过改变电机供电频率与电压实现无级转速调节，是优化泵站电气运行方式、实现节能降耗的关键核心设备。（1）根据水力需求无级调节水泵转速。传统泵站水泵采用工频定速运行，输出流量固定不可调节，水量富余、负荷较低时只能依靠闸门节流稳压，存在严重的节流损耗与能源浪费。引入变频器后，控制系统结合实时水位、流量目标值动态调节输出频率，精准改变水泵出水量，完全匹配实时输水、排涝工况需求，在调水工程、供水泵站等负荷波动频繁的场景中，调速节能与工况适配优势尤为突出。（2）优化机组启动运行方式。变频器支持软启动、软停止运行模式，水泵启动阶段电压、电流平稳线性上升，彻底消除工频直接启动产生的冲击电流，大幅减小对变压器、母线、电缆等电气设备的冲击损耗，稳定供电系统运行工况。停机过程实现柔性停止，减缓管路水流速度突变，有效弱化管路水锤效应，全面保护管道、阀门等水工附属设施，延长设备使用寿命。（3）实现多机组协同调速控制。针对多泵并联运行的大型泵站，通过中控系统精准协调工频机组与变频机组协同配合运行。低负荷时段依靠单台变频机组全程调节流量，满足小工况运行需求；负荷大幅增大后投入工频机组恒速运行，由变频机组负责精细流量与压力微调，持续维持管网压力恒定，避免机组频繁启停，简化现场运维操作，提升泵站运行稳定性。

2.4 大数据与智能分析技术的应用

依托现场传感器、PLC终端持续采集的海量运行数据，大数据智能分析技术打破了传统泵站单一参数监控的局限，实现从简单数据监测到运行状态深度研判、智能优化的升级转变。（1）建立泵站运行数据库。持续存储全站水位、流量、机组电流电压、设备运行时长、启停记录、故障信息等海量历史数据，完整留存不同季节、不同水文条件、不同调度方案下的泵站运行工况数据。运维人员可随时调取历史同期数据，横向对比不同调度策略下的设备运行参数与能耗指标，为科学制定调度方案提供可靠数据支撑。（2）开展设备运行趋势分析。通过对长期采集数据进行统计拟合，绘制电机温升、机组振动、设备能耗动态变化曲线，精准识别设备参数缓慢劣化的趋势规律。通过与设备正常运行基准数据比对，提前预判轴承磨损、密封渗漏、电机效能衰减等隐性故障，推动泵站运维模式由传统事后抢修、被动检修，转变为提前预判的计划性、预防性检修。（3）辅助运行策略优化。数据平台汇总整合不同工况下的机组能耗、出力数据，建立流量、扬程与电耗的对应关系模型，智能寻优多机组投切组合方案。在满足输水、排涝任务的前提下，优先匹配高效运行机组组合，有效减少无功损耗与低效能耗[3]。

3 泵站电气智能自动化控制系统的功能实现

3.1 设备运行智能启停与联动控制功能

智能自动化控制系统依托预设控制逻辑与现场实时工况参数，实现泵站机组、阀门及辅助设备一体化启停与联动控制，规范设备运行流程。（1）阈值自动启停控制以站前水位、管网压力为核心判定指标，设置多级

启停阈值。水位达到开机阈值时，系统按既定顺序投入机组；水位回落至停机阈值后，依次关停设备，全程自主运行，无需人工介入操作。（2）系统具备泵阀联动闭锁逻辑，单泵及多泵并联运行时严格执行“先开阀后启泵、先停泵后关阀”的作业流程，杜绝带压启泵、憋压停机等违规工况，有效规避水锤冲击、管路过载等安全隐患。（3）系统内置机组轮换机制，自动统计各设备运行时长，动态轮换工作机组、启用闲置设备，均衡各水泵与电机的运行负荷与磨损程度，避免单机长期高负荷运行，保障泵站连续稳定作业，延长设备服役周期。

3.2 运行参数实时智能监测与调控功能

该功能构建全天候全覆盖的工况监控体系，实现泵站运行参数动态采集、智能调控与可视化管理。（1）系统依托前端传感设备，持续采集水力、电气及设备运行关键参数，包括水位、管道压力、出水流量、电机电流、工作电压、设备温度及机组振动等数据，采集频次适配工况变化节奏，保证数据实时精准。（2）基于实测参数与预设工况标准，系统可自主完成设备状态修正。针对管网压力波动、流量偏差等问题，通过调节变频器频率、增减运行机组数量，快速平衡运行参数，保障输水、排涝工况稳定达标。（3）所有监测数据实时上传至上位机平台，以数据报表、动态曲线、工况界面的形式直观展示，便于运维人员实时掌握全站设备运行状态，实现精细化管控。

3.3 故障智能诊断、报警与应急处理功能

系统搭载完善的故障研判与应急处置体系，可快速响应设备异常，抑制故障扩散，提升泵站运行安全稳定性。（1）依托内置故障判定模型，系统可精准识别电机过载、缺相、短路、超温、压力异常、水位超限、信号中断等典型故障，同时结合参数变化趋势预判隐性故障，实现故障提前预警。（2）系统实行分级报警机制，一般性异常仅弹窗提示并留存记录，重大故障同步触发现场声光报警与远程平台推送，精准标注故障点位与故障类型，缩短故障排查时间。（3）出现高危故障时，系统自动执行保护操作，紧急关停故障机组、切断故障回路，联动备用设备投入运行，保障泵站不间断作业，同时留存故障前后运行数据，为检修溯源提供可靠依据[4]。

3.4 泵站能耗智能优化管控功能

能耗智能管控依托智能算法结合现场工况，优化机组运行策略，实现泵站能耗精细化管控。（1）系统根据实时输水需求与各机组能效特性，智能筛选最优机组投切组合，在满足压力、流量运行标准的基础上，优先运行高效区间设备，规避低效机组作业，降低无效能耗损耗。（2）结合变频调速技术实现动态负荷调节，依据水位、流量变化实时调整电机运行频率，摒弃传统工频恒速运行模式，精准匹配现场负荷需求，改善设备空载、轻载高能耗问题。（3）系统自动统计日、月耗电量及单位水量能耗数据，生成标准化能耗报表，通过对比不同工况与调度方案的能耗差异，识别高能耗运行工况，持续优化运行策略，提升泵站整体节能运行水平。

结束语：本文系统梳理了智能化技术在泵站电气自动化控制中的基础原理、具体应用与功能落地效果。各类智能技术可有效弥补传统泵站控制的短板，实现设备联动管控、参数精准调控、故障智能处置与能耗优化，显著提升泵站运维水平。智能化改造是水利泵站现代化发展的必然趋势，后续可结合现场复杂工况持续优化控制逻辑与算法策略，进一步提升泵站智能管控的精准度与稳定性，为水利工程高效运维提供坚实支撑。

参考文献

[1]李自龙.泵站电气自动化控制中智能化技术的应用浅析[J].通讯世界,2026,33(4):109-111.

[2]娄幸媛.泵站电气自动化控制中智能化技术的应用研究[J].科技资讯,2025,23(20):118-120.

[3]朱峻毅.泵站电气自动化控制中智能化技术的应用[J].前卫,2023,(8):46-48.

[4]尹磊磊,杨振,尹逊明.泵站电气自动化控制中的智能化技术应用研究[J].科技资讯,2026,24(4):43-45.